



PFLANZENPRODUKTION

Grenzen und Potenziale der teilflächenspezifischen Düngung

Eine erfolgreiche Düngestrategie ist essenziell für die Ertrags- und Qualitätsbildung landwirtschaftlicher Kulturen. Auf heterogenen Schlägen haben die Pflanzen teilflächenspezifisch einen unterschiedlichen Nährstoffbedarf. Bei einer einheitlichen Düngung können einige Bereiche des Felds mit Stickstoff unter- und andere überversorgt werden. Die Folge ist eine ineffizientere Ausnutzung der vorhandenen Ressourcen. Insbesondere in roten Gebieten kann das Ertrags- und Qualitätseinbußen zur Folge haben. Landtechnikhersteller und Startups arbeiten an unterschiedlichen Strategien, um eine bessere Verteilung von Mineraldünger, in Form einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, vornehmen zu können. Das wirft die berechtigten Fragen auf, ob sich der Einsatz einer solchen Technik lohnt und welche dieser Techniken sich für den Einsatz auf dem eigenen Betrieb eignen.

Die TH Bingen, Kooperationspartner im Forschungsprojekt Experimentierfeld (EF SW), veranstaltete im vergangenen Dezember einen Online-Informationsabend zu diesem Thema. Im Fokus standen „Grenzen und Potenziale der teilflächenspezifischen Mineraldüngung“. Die beiden Referenten waren Tobias Füge, Landwirt aus dem Donnersbergkreis, und Matthias Eichelseder, Experte im Bereich Precision Farming. Außer Prof. Dr. Thomas Rademacher und Prof. Dr. Clemens Wollny, Leiter des Projekts an der TH, nahmen Studierende und Landwirte/Winzer aus ganz Rheinland-Pfalz sowie Vertreter der Offiziellen Beratung der DLR an der Veranstaltung teil. Das Verbundprojekt hat das Ziel, die Digitalisierung in der Landwirtschaft voranzutreiben.

Die teilflächenspezifische Mineraldüngung ist eine Anwendungsmethode im Rahmen von Precision Farming. Precision Farming beschäf-

tigt sich mit der kleinflächig unterschiedlichen Bewirtschaftung innerhalb großer Schlags. Die Verteilung des Düngers richtet sich dabei nach den durch die Heterogenität verursachten, unterschiedlichen Nährstoffbedürfnissen der Pflanzen in den verschiedenen Ertragszonen.

Heterogenität auf den Feldern

Für die Heterogenität auf den Feldern gibt es verschiedene Ursachen. Durch ausbleibende Niederschläge zur Hauptvegetationsperiode in vielen Regionen in den letzten Jahren war die nutzbare Feldkapazität (nFk) der Böden ein entscheidender Faktor für die Ertragsbildung der Kulturpflanzen. Sie beschreibt den Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser, den ein Boden maximal speichern kann und wird maßgeblich von der Bodenart beeinflusst. Tonreiche Böden speichern mehr Wasser als sandige und können somit die Pflanzen in Trockenperioden länger versorgen.

Die höchste nFk weisen Schluffböden auf. Aber nicht nur die Wasserversorgung und verschiedene Bodentypen, wenn das Korngrößenpektrum (S, U, T) gemeint ist, spielen eine Rolle, auch der Nährstoffgehalt und das -nachlieferungspotenzial sowie potenzielle Schadverdichtungen können teilflächenspezifische Unterschiede auf den Feldern verursachen. Selbst kleine Schläge können eine große Heterogenität aufweisen.

Eine durch die Heterogenität bedingte Herausforderung ist, dass sie sich nicht in allen Anbaujahren und Kulturen gleich äußert. Durch unterschiedliche Witterungen können in zwei aufeinanderfolgenden Anbaujahren komplett gegensätzliche Ertragskarten entstehen. Zudem kann eine natürliche Ver-



Das Online-Verfahren eignet sich auch für eine Düngung zum Schossen und eine spätere Qualitätsdüngung im Getreide.

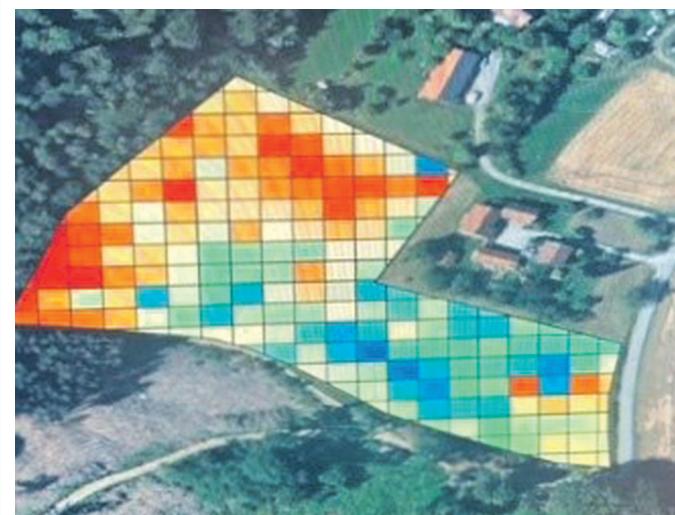
Foto: M. Eichelseder

schiebung der Ertragszonen stattfinden. Daher ist es wichtig, die unterschiedlichen Faktoren und Kombinationswirkungen zu kennen, die eine Heterogenität innerhalb eines Schlags bewirken, um daraus aussagekräftige Erkenntnisse zu gewinnen. Das bildet insbesondere beim sogenannten Offline-Verfahren der teilflächenspezifischen Düngung die Grundlage, da hierbei ausschließlich mit Daten gearbeitet wird, die in der Vergangenheit erhoben wurden.

Offline-Verfahren

Beim Offline-Verfahren wird eine Applikationskarte basierend auf historischen Daten generiert. Für ihre Erstellung bieten verschiedene Anbieter Internetportale und Apps an, die sich

Abbildung 1: Beim Mähdrusch erzeugte Ertragskarte eines Schlags



Rote Bereiche weisen in Bezug auf den Ø-Ertrag der Fläche Zonen mit niedrigen Erträgen, blaue Bereiche Zonen mit überdurchschnittlich hohen Erträgen aus



Beim Isaria-System von Fritzmeier werden die Pflanzensensoren mittels einem, am Fronthubwerk des Traktors befestigtem Gestänge senkrecht zum Bestand geführt. Hier im Einsatz zur Applikation von Mineraldünger zur 2. Gabe im Raps.

Foto: M. Eichelseder

in ihren Funktionen und Komplexität teils stark voneinander unterscheiden. Als Einsteiger sollte eine möglichst kompakte Anwendung genutzt werden, die bereits einige gesammelte Basisinformationen zur Verfügung stellt und die Erstellung von Applikationskarten durch ein Funktionsmenü erleichtert. Bei der Auswahl des Portals muss auch die Kompatibilität zur Einspeisung bereits erhobener Daten und den später verwendeten Maschinen berücksichtigt werden.

Für das Erstellen einer Applikationskarte können verschiedene Informationen herangezogen werden. Die einfachste Form ist die Generierung auf Datengrundlage von Biomassekarten. Die Basisinformationen liefern hierfür zumeist Aufnahmen des Vegetationsindexes (NDVI-Index) durch einen der beiden Sentinel-2-Satelliten. Die Sentinel-2-Satelliten sind Teil des Copernicus-Programms der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) und nehmen beim Umkreisen der Erde Bilder mit einem 10 x 10 m großen Raster auf. Hierbei ist zu beachten, dass Portale, die ein kleineres Raster anbieten, mit einer Interpolation der Aufnahmen der Sentinel-2-Satelliten oder anderen Aufnahmen arbeiten. Als Alternative bietet sich die Ermittlung des Vegetationsindexes über Drohnenaufnahmen mit einer Multispektralkamera oder die direkte Nutzung langjähriger Biomassekarten an, die von dem Betreiber des Portals zur Verfügung gestellt werden. In einigen Portalen ist es zudem möglich, viele verschiedene Biomassekarten automatisch zu einer Applikationskarte zu verschneiden. Als weitere Datenquelle können Ertragskar-

ten dienen. Diese werden bei der Ernte über den Mähdrescher oder Feldhäcksler erstellt. Die Ertragskarten verschiedener Anbaujahre und Kulturen können miteinander verschnitten und dabei unterschiedlich stark gewichtet werden. Für eine hohe Aussagekraft sollten jedoch die Ertragskarten von mindestens 3 Anbaujahren der gleichen Kulturart verwendet werden, weil die Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Kulturen durch Witterungseinflüsse nicht immer gegeben ist. Beispielsweise ist es nicht ratsam, die Ertragskarte von Mais eines feuchten Anbaujahrs mit der Ertragskarte von Weizen in einem trockenen Anbaujahr zu kombinieren.

Neben dem NDVI-Index und Ertragskarten gibt weitere Daten, die sich eignen, um Applikationskarten zu erstellen. Dazu zählen Bodenkarten mit Informationen über die Wasser- und Nährstoffversorgung, Bodenart oder die Messung der Bodenleitfähigkeit, die eine Korrelation zur Bodenbeschaffenheit aufweist.

Die Nährstoffe auf dem Schlag können über eine systematische Beprobung des Bodens ermittelt werden. Grundsätzlich ist es für die Genauigkeit von Applikationskarten ratsam, mehr als eine Datenquelle bei der Generierung zu berücksichtigen.

Parallel zum Einarbeiten von Daten muss das Düngeneiveau für die unterschiedlichen Zonen der Applikationskarte ausgewiesen werden. Für Einsteiger ist es hilfreich, die angestrebte Dünghöhe

kleinflächig nicht zu unterschiedlich zu verteilen, sondern den Schlag in bis zu fünf verschiedenen Zonen einzuteilen. Anschließend kann das Düngeneveau für die einzelnen Zonen festgesetzt werden. Dafür gibt es zwei Strategien. Die einfache Variante ist eine festgeschriebene Durchschnittsmenge auf die Zonen bedarfsgerecht zu verteilen. Als Alternative können für die Zonen individuelle Düngeneaveaus festgelegt werden, dabei ist jedoch der ermittelte Grenzbedarf der Düngebedarfsermittlung zu berücksichtigen. Im Anschluss wird die fertige Applikationskarte in das passende Datenformat umgewandelt und auf das Bedienterminal im Traktor übertragen.

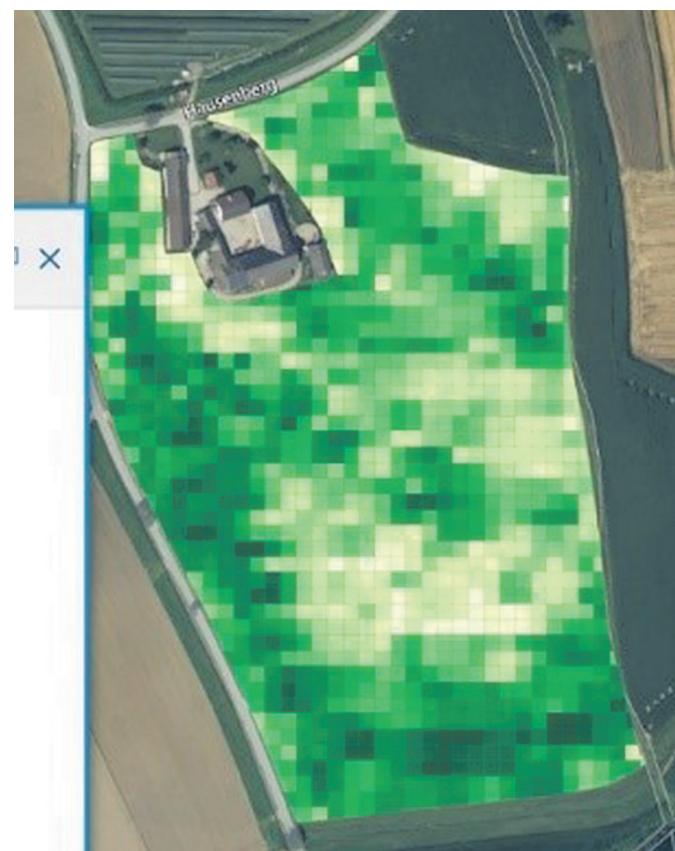
Online-Verfahren

Bei dem Online-Verfahren wird das Düngeneveau direkt an den aktuellen Nährstoffbedarf des Bestands angepasst. Mit einem aktiven oder passiven Pflanzensensor wird die Lichtreflektion des Pflanzenbestands erfasst. Für die Messung mit dem aktiven Pflanzensensor wird der Sensorkopf in einem bestimmten Abstand senkrecht zum Bestand geführt. Eine im Sensorkopf integrierte Lichtquelle bestrahlt dabei den Pflanzenbestand mit Lichtwellen aus dem nahinfraroten bis infraroten Bereich. Durch die integrierte Lichtquelle kann der aktive Sensor auch bei Dunkelheit eingesetzt werden und unterscheidet sich somit vom passiven Pflanzensensor, der sich nur für den Einsatz bei Tageslicht eignet. Die Sensoren zur Messung der Lichtreflektion des Pflanzenbestandes werden beim passiven Pflanzensensor am Rückspiegel

Abbildung 2: Die As-applied Karte der Düngemittel wird beim Online-Verfahren automatisch aus den Messergebnissen der Pflanzensensoren und dem eingespeisten Datenmaterial dokumentiert



Abbildung 3: Die Sensormessung einer 3. N-Gabe im Winterweizen am 11. Mai zeigt die Verteilung des N-Versorgungsindex





PFLANZENPRODUKTION

eines Traktors angebracht. Zusätzlich benötigt das System noch einen Lichtsensor auf dem Schlepperdach, um die Intensität der Sonnen-einstrahlung zu erfassen.

Mit beiden Systemen können zwei unterschiedliche Vegetationsindizes ermittelt werden. Zum einem wird die vorhandene Biomasse in ähnlicher Form wie der NDVI-Index bestimmt. Der zweite Index ist der sogenannte Stickstoffversorgungs-Index. Dieser ermöglicht einen direkten Rückschluss auf den Chlorophyllgehalt in den Pflanzen. Abhängig vom aktuellen Wachstumsstadium wird mit dem Biomasse- oder dem Stickstoffversorgungs-Index gearbeitet. Mit dem N-Versorgungs-Index kann der aktuelle Stickstoffbedarf der Pflanzen für das Feld mit einer Regelkurve ermittelt werden. Die Düngung wird nach einer Linearverteilung einer festgelegten Durchschnittsmenge oder dem direkt ermittelten Stickstoffbedarf vorgenommen. Die Strategie der linearen Verteilung einer festgelegten Durchschnittsmenge eignet sich in roten Gebieten besser als die Düngung nach dem Stickstoffbedarf der Pflanzen, weil der berechnete tatsächliche Stickstoffbedarf der Pflanzen zumeist höher ist als die um 20 % reduzierte kalkulierte Düngermenge.

Einige Hersteller, die mit dem Online-Verfahren arbeiten, bieten zudem Systeme an, die mit Kartenmaterial kombiniert werden können. Die Karte kann Informationen zur Bodenart und dem Ertragspotenzial enthalten. Das System kalkuliert im Anschluss den Stickstoffbedarf der Pflanzen mit unterschiedlichen Regelkurven für die einzelnen Ertrags- oder Boden-zonen des Schlags.

Praxiserfahrungen

Die Füge-Landfried GbR in Bischheim hat umfangreiche Erfahrung mit der teilstächen-spezifischen Mineraldüngung gesammelt.



Das Terminal des Traktors visualisiert eine Applikationskarte, die auf Basis einer Sensor-Herbstmessung im Raps erstellt wurde.

Foto: M. Eichelseder

In einer Betreibergemeinschaft mit eigener Biogasanlage ist Landwirt Füge an der Be-wirtschaftung von insgesamt 600 ha beteiligt, von denen etwa 80 % zu roten Gebieten zählen. Der Jahresniederschlag des Betriebsstandorts im Donnersbergkreis liegt bei lediglich 550 mm.

Seit 2012 werden in dem Betrieb Techniken der teilstächen-spezifischen Düngung eingesetzt. Zunächst verwendete der Betrieb eine frühere Version der Düngetechnik des Online-Verfahrens, allerdings konnte der damalige Stand der Technik nicht überzeugen, da die Systeme häufig zu einer Überschreitung der Grenzwerte der Bedarfsermittlung und nicht zu einer Einsparung von Düngemittel führten. Der Mehraufwand spiegelte sich zudem nicht in den monetären Leistungen, in Form von Erträgen und Inhaltsstoffen, wider. Außerdem bemängelte Füge die damals noch sehr zeitauf-wändige Inbetriebnahme vor den Einsätzen. Aus diesem Grund stieg man auf ein Offline-Verfahren mittels Applikationskarten aus Satelliten Daten um.

Für die Erstellung von Applikationskarten wurden zwei Ansätze genutzt. Für die zeit-sparende Generierung setzt der Landwirt auf ein Portal, mit dessen Hilfe er verschiedene Biomassekarten automatisch zu einer mehrzonigen Applikationskarte verschneiden kann.

Um eigene Karten zu erstellen, arbeitet Füge hingegen mit dem Q-GIS-System. Zur Generierung von zusätzlichen Daten führte er unter anderem Messungen der elektrischen Leitfähigkeit durch und ermittelte die unter-schiedlichen Bodenarten sowie die Wasserhal-tefähigkeit auf seinen Schlägen. Diese Daten führt er anschließend manuell zu einer eigenen Applikationskarte zusammen. Im Ge-gen-satz zu der Nutzung von Portalen ist dieser Ansatz jedoch um einiges komplizierter und erfordert neben dem Fachwissen einen höhe-ren Zeitaufwand. Für Flächen in den roten Gebieten nutzt Füge die Applikationskarten, um durch Einteilung in unterschiedliche Bedarfszonen die Durchschnittsmenge um 20 % zu reduzieren.

On- oder Offline – Vor- und Nachteile

Online- und Offline-Verfahren bieten jeweils individuelle Vorteile, haben aber auch limitie-rende Aspekte. Beide sind für einen erfolg-reichen Einsatz stark von der Witterung abhängig und die Wirkung ist erst ab Schlaggrößen ab einem Hektar sichtbar. Bei ausbleibenden Nie-derschlägen sinkt die Effizienz der gedüngten N-Menge.

In der Anschaffung ist das Offline-Verfahren mit dem Abonnement eines Portals wesentlich kostengünstiger als die Technik des Online-Verfahrens. Applikationskarten aus Biomasse-karten sind zudem schnell erstellt. Die Ver-wendung des NDVI-Indexes aus Satellitenaufnahmen weist jedoch Schwächen auf. Zum einen kann die Genauigkeit bei kleinen Schlägen durch Randeinflüsse drastisch reduziert

Weitere Einsatzgebiete des Online-Verfahrens

Die Technik des Online-Verfahrens kann neben der Düngung noch für weitere Zwecke genutzt werden. Eine Option ist die Kombination mit der Applikation von Wachstumsreglern. Über die Sensoren wird die unterschiedliche Entwicklung der Pflanzen erfasst und die zu applizierende Menge der Wachstumsregler anschließend daran angepasst. Durch den Einsatz des Online-Verfahrens konnten Wachstumsregler nicht nur besser verteilt, sondern auch Applikations-mittel eingespart werden. Das verdeutlichte ein von Eichelseder begleiteter Versuch. Durch die gleichmäßige Bestandsentwick-lung konnten in den Versuchskulturen Wei-zen und Kartoffeln zudem leicht höhere Er-träge erzielt werden.

sp

werden. Ein weiteres Problem ist die voran-schreitende Vegetation. Ab dem Schossen be-deckt die angebaute Kulturpflanze häufig fast vollständig den Boden und der NDVI-Index weist für den Schlag keine Vegetationsunter-schiede mehr aus. Für die Verwendung von Sa-tellitenbildern werden zudem gerade zur Hauptvegetation sehr aktuelle Aufnahmen be-nötigt. Diese können durch ungünstige Wit-terungsbedingungen und der Häufigkeit des Überflugs durch die Satelliten nicht immer zur Verfügung stehen. Die Verwendung von älteren Satellitenaufnahmen verschlechtert dabei die Aussagekraft des Biomasse-Indexes. Eine Abhilfe hierbei können Drohnenaufnahmen schaffen. Die Verwendung von Applikations-karten auf Basis des NDVI-Indexes ist jedoch eine gute Grundlage für die Startdüngung zu Vegetationsbeginn im Frühjahr. Die Erstellung von komplexeren Applikationskarten mit der Berücksichtigung mehrerer Daten für eine höhe-re Erfolgswahrscheinlichkeit ist dagegen um einiges zeitaufwändiger und bedarf einiges an Erfahrung.

Die Techniken des Online-Verfahrens weisen im Gegensatz zum Offline-Ansatz den Vorzug durch direkte Messungen im Bestand auf, mit dem der tatsächliche Nährstoffbedarf der Pflanzen erfasst werden kann. Im Gegensatz dazu arbeiten Applikationskarten ausschließ-lich mit historischen Daten. Zudem benötigt der Online-Ansatz einen deutlich geringeren Zeitaufwand. Mit der Messung der Lichtreflektion im nahinfraroten bis infraroten Be-reich kann zudem der Unterschied im Nähr-stoffbedarf der Pflanzen selbst bei fortgeschrit-tener Vegetation erfasst werden. Damit eignet sich das Online-Verfahren auch für eine Düngung zum Schossen und eine spätere Quali-tätsdüngung.

Trotzdem ist zu beachten: Egal ob bei der Düngung auf Applikationskarten oder Echt-zeit-Messungen im Bestand gesetzt wird, beide Verfahren dienen lediglich der Optimierung der Bestandsführung. Diese äußern sich in



einem homogeneren Bestand oder einer besseren Nährstoffausnutzung, die im Idealfall den Ertrag und die Qualität verbessern. Es sind jedoch keine nennenswerten Ertragssteigerungen im Bereich mehrerer Tonnen zu erwarten, da der Ertrag zumeist von anderen Faktoren wie der Wasserverfügbarkeit limitiert wird.

Fazit

Landwirtschaftliche Flächen können durch schlagspezifische Bodenunterschiede von einer großen Heterogenität geprägt sein. Das hat unterschiedliche Nährstoffbedürfnisse der Pflanzen zur Folge. Eine Abhilfe kann eine teilflächenspezifische Düngung schaffen. Diese kann mittels dem Offline- und Online-Verfahren realisiert werden. Das Offline-Verfahren ist deutlich kostengünstiger und die Nutzung des Biomasseindex eignet sich insbe-

sondere für die Startdüngung im Frühjahr. Das Online-Verfahren bedingt zwar höhere Investitionen, spart aber Zeit gegenüber aufwändigen Applikationskarten ein. Zudem wird nach dem tatsächlichen Pflanzenbedarf gedüngt und auch in späteren Entwicklungsstadien können Bestandsunterschiede exakt detektiert werden. Trotzdem dienen beide Verfahren nur der Optimierung der Kulturführung, wodurch Ertrags- und Qualitätssteigerungen von 2–10 % möglich sind. Größere Vorteile sind in Einzelfällen möglich, aber eher selten.

Weitere Informationen zum Verbundprojekt „Förderung des branchenübergreifenden und überbetrieblichen Datenmanagements zur Unterstützung landwirtschaftlicher Wertschöpfungssysteme“ gibt es im Internet unter <https://ef-sw.de>.

Sven Poth, TH Bingen

